Environment Canada | Environnement Canada

Canadian Forestry Service | Service canadien des forêts

RATING VULNERABILITY OF BALSAM FIR TO SPRUCE BUDWORM ATTACK IN QUEBEC

J. R. BLAIS and L. ARCHAMBAULT

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE

LAU-X-51

Environment Canada | Environnement Canada

COPY D

canusa

RATING VULNERABILITY OF BALSAM FIR TO SPRUCE BUDWORM ATTACK IN QUEBEC

J.R. Blais and L. Archambault

INFORMATION REPORT
LAU-X-51

1982

LAURENTIAN FOREST RESEARCH CENTRE
CANADIAN FORESTRY SERVICE
1080 ROUTE DU VALLON
P.O. BOX 3800
SAINTE-FOY, QUEBEC
G1V 4C7

Copies available

No Catalogue Fo46-18/51E

ISBN 0-662-12134-1

ISSN 0703-2196

© Department of Supply and Services Canada 1982

Aussi disponible en français sous le titre

Vulnérabilité du sapin baumier aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec

Cover: Lucil LePage

TABLE OF CONTENTS

	Page
ABSTRACT	
RÉSUMÉ	
INTRODUCTION	1
CRITERIA FOR DETERMINING THE VULNERABILITY INDEX	3
DERIVATION OF THE VULNERABILITY INDEX	6
DISCUSSION	16
ACKNOWLEDGEMENTS	17
REFERENCES	18

LIST OF TABLES AND FIGURE

Table 1. Yearly total area where varying amounts of tree mortality occurred resulting from the current budworm outbreak in Quebec 2

Table 2. Vulnerability index (V.I.) of fir for each of 75 management units in Quebec based on combined merchantable volume of fir and white spruce, maturity of fir, merchantable volume of black spruce and red spruce, and climate 12

Figure 1. Vulnerability index by forest management unit in Quebec based on forest inventory data and on fir mortality to budworm. 4

ABSTRACT

A working Group of Canadian Forestry Service scientists from Ontario, Quebec, the Maritimes, and Newfoundland developed a classification of forests with respect to their vulnerability to spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) attack. Forest inventory and current budworm damage data for Quebec were particularly suitable to the elaboration and the testing of a vulnerability rating system. The vulnerability index was calculated on a forest management unit basis and was based on the volume of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) and white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), the maturity of fir, the volume of black spruce (*P. mariana* (Mill.) B.S.P.) and red spruce (*P. rubens* Sarg.), and a climate rating based on temperature and precipitation. Calculation of the vulnerability index for each of 75 forest management units showed good accord between the results and actual damage. The application of the system for providing advance warning of future outbreaks and for assisting in the preparation and the implementation of short- and long-term forest management practices is discussed.

Blais, J.R.; Archambault, L. 1982. Rating vulnerability of balsam fir to spruce budworm attack in Quebec. Can. For. Serv. Laurentian For. Res. Centre. LAU-X-51.

RÉSUMÉ

Un groupe de travail constitué de scientifiques du Service canadien des Forêts de l'Ontario, du Québec, des Maritimes et de Terre-Neuve a developé un système de classification des forêts quant a leur vulnérabilité aux attaques par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)). Les données des inventaires forestiers pour le Québec ainsi que celles sur les dégats occasionnés par l'insecte se prêtaient particulièrement bien à l'élaboration et à l'application d'un tel système. L'indice de vulnérabilité fut calculé par unité d'aménagement. Le calcul de l'indice fut basé sur le volume du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), la maturité du sapin, le volume d'épinette noire (*P. mariana* (Mill.) B.S.P.) et d'épinette rouge (*P. rubens* Sarg.), ainsi que sur un bilan climatique en fonction de la température et de la précipitation. Le calcul de l'indice de vulnérabilité pour 75 unités d'aménagement a montré que les résultats correspondaient aux dégats observés. L'application de cette classification pourrait servir à la prédiction d'invasions de la tordeuse, ainsi qu'à l'élaboration et l'application de plans d'aménagement à court et à long terme.

Blais, J.R.; Archambault, L. 1982. Vulnérabilité du sapin baumier aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec. Serv. Can. For. Centre Rech. For. Laurentides. LAU-X-51F.

INTRODUCTION

Spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) outbreaks recur in eastern North America where balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) and white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss) are important components of the forest. These tree species are common and occur over widespread areas in Quebec. In this province the greatest concentrations of fir and white spruce occur in the central and southern portions of the Boreal Forest Region and in the northern portion of the Great Lakes-St. Lawrence Forest Region (Rowe 1972). Fir, the most important host of the budworm comprises 22% and white spruce 5% by volume of all species (Ministère des Terres et Forêts Québec 1975). Therefore, it is not surprising that forests in Quebec are prone to budworm attack. In the twentieth century, three budworm outbreaks occurred in Quebec, each starting about 1910, 1940, and 1967. These outbreaks extended to most fir-spruce stands in the province and lasted for several years, the first two came to an end only after much of the fir of merchantable size had been destroyed. Swaine and Craighead (1924) estimated the timber killed in the province by the 1910 outbreak amounted to 150 million cords (544 million m^3), equivalent to more than the actual annual world production of pulpwood. Estimates by these authors are probably high, but are indicative of the magnitude of the damage. Losses calculated for regions such as the Gatineau River watershed (McLintock1955), the Gaspé Peninsula (Blais and Martineau 1960), and the Laurentian Park (Blais 1964) indicate that total amount of wood destroyed in Quebec during the 1940 outbreak was also considerable. The most recent outbreak is still in progress, but already important amounts of wood have been destroyed in many regions from the Ontario border to Anticosti Island and the North Shore (Ministère de l'Energie et des Ressources du Québec 1981). Annual aerial surveys conducted by the conservation branch of the *ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec* indicate that tree mortality has been progressing from year to year (Table 1). In the Ottawa River watershed where the current outbreak began, about 90% of the fir and 50% of the white spruce of merchantable size was destroyed by 1979 (Blais 1981). Trees will continue to die

Table 1. Yearly total area where varying amounts of tree mortality occurred resulting from the current budworm outbreak in Quebec[a]

Year	Total area in millions of ha
1974	1.0
1975	3.0
1976	3.81
1977	5.67
1978	6.30
1979	8.30
1980	9.25
1981	10.20

[a] Based on data obtained by the ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

for a number of years in many regions, and wood loss in the course of this outbreak will again be very high.

The periodic destruction of large amounts of wood poses a real problem to forest managers and to those responsible for forest protection. The problem will become more acute with time, as the demand for forest products increases while wood reserves are being depleted. The socio-economic consequences of future budworm outbreaks will be even more crucial than formely.

In the past 30 years, several attempts were made to relate budworm-induced mortality of fir to stand characteristics such as age and composition. In his review of the litterature, MacLean (1980) concludes that these attempts have not been particularily successful. Stand characteristics for predicting damage by budworm may be more reliable close to the periphery of infested areas where insect populations are generally lower. However, within large infested areas, populations can be maintained at very high levels for several years; wind dispersal of moths and small larvae results in a redistribution of populations. Stands offering conditions less favorable to the insect may suffer severe damage through repeated invasions from surrounding stands, and any differentiation in stand vulnerability may

be lost. Therefore fir vulnerability is easier to predict on a regional than on a stand basis. The term vulnerability refers to the probability of tree mortality resulting from attack, as opposed to the term susceptibility which refers to the probability that a forest would be attacked by budworm (Mott 1963).

During the 1940 and 1967 outbreaks, restricted sections of the infested area were treated with insecticides with moderate to good success (Blais 1977), and some salvage operations were carried out. However, an overall plan of action to reduce damage was not implemented. Regional variations would have to be considered when implementating such a plan since the degree of vulnerability of fir, accessibility of the forest, and dependance on wood supplies vary. Any management program aimed at reducing losses due to budworm would require a hazard-rating of forest to budworm attack.

CRITERIA FOR DETERMINING THE VULNERABILITY INDEX

A good opportunity to test the validity of a hazard-rating of balsam fir stands to budworm attack on a regional basis in Quebec was provided by recent data from two sources: forest inventories, and tree mortality resulting from budworm attack. In 1970, the Forest Inventory Branch of the Quebec Department of Lands and Forests began a forest inventory of the 77 forest management units in the province (Figure 1) on a ten-year basis. The first phase was completed in 1977. For practically all management units the inventory was made prior to the killing of trees by budworm; the units where tree mortality first occurred (in western Quebec) were those for which the inventory was first completed. For the past several years, members of the conservation branch of the *ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec* conducted ground and aerial surveys to determine losses due to budworm. These surveys provide data for the preparation of maps showing the degree and extent of tree mortality for all regions in the province. Maps completed in 1981 served as a reference for assessing current budworm damage for each management unit in Quebec. Because the mid- and lower-North Shore regions, are remote they were covered less critically than other regions. Special ground and aerial surveys were conducted by the authors in 1981 to

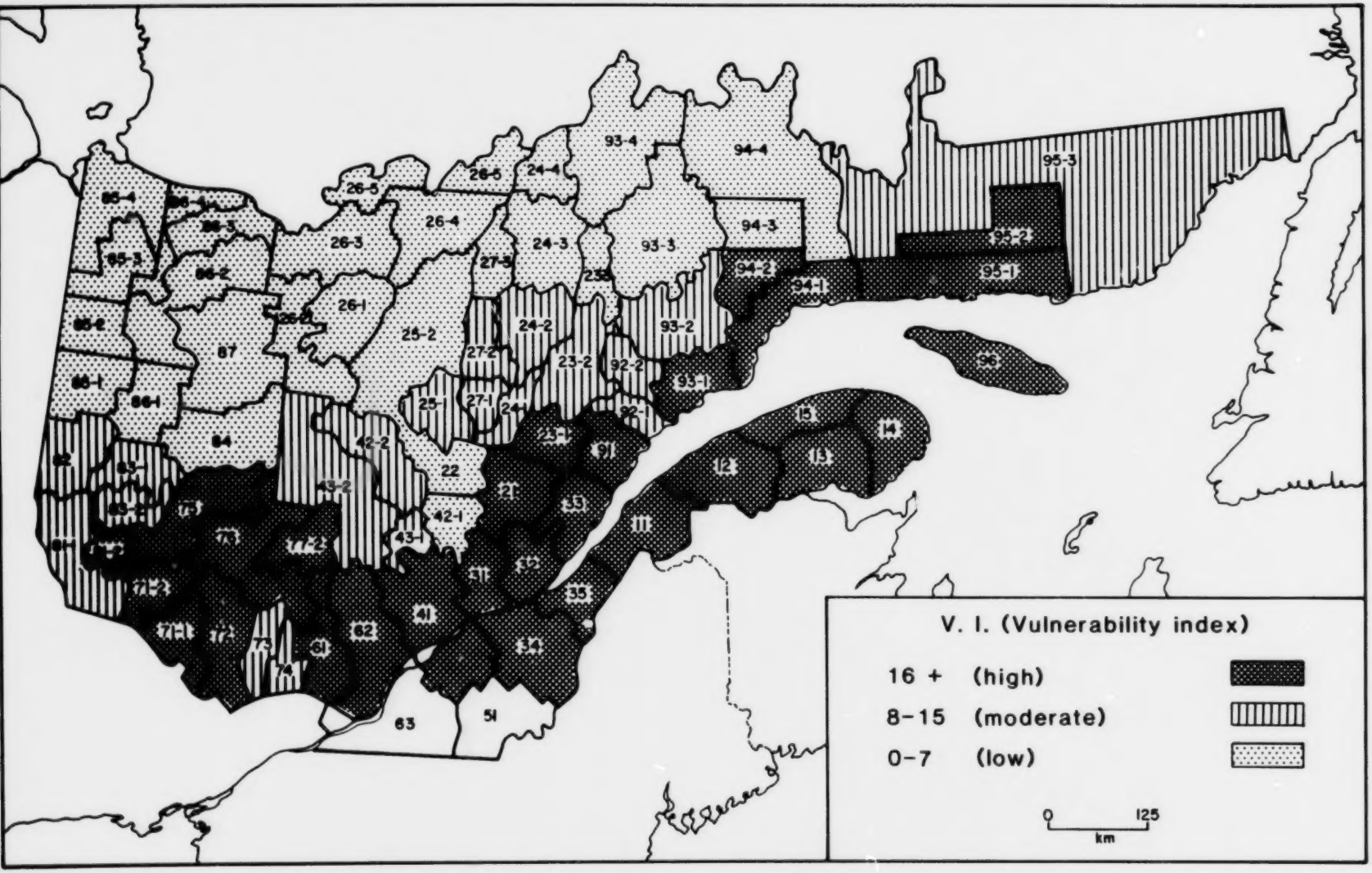

Figure 1. Vulnerability index by forest management unit in Quebec based on forest inventory data and on fir mortality to budworm.

obtain a better appraisal of budworm impact in that sector (Blais 1983). Defoliation continues in certain areas, in Quebec especially in the eastern part of the province, any further damage can be predicted with considerable confidence at this advanced stage of the outbreak. A hazard rating based on pre-damage forest inventory was compared with the ensuing mortality of fir for each of the management units; this provided a means for assessing the validity of the ratings.

Spruce budworm usually feeds on new shoots, and repeated destruction of the current year's foliage results in tree mortality. Merchantable size balsam fir succumbs after about five years of repeated severe (75% +) defoliation. The degree of defoliation depends on insect numbers which can fluctuate from year to year. Insect populations are affected by several factors some of which are predictable while others are not. The unpredictable factors can change over short periods; they are comprised of weather, natural control factors, including parasites and predators, and the influx of populations through massive moth flights (Greenbank et al. 1980). The predictable factors include forest composition, age of fir-spruce stands, and prevailing climate. Composition and age of the forest change gradually, while climate is more or less stable. Only predictable factors can be considered for rating the relative vulnerability of fir for specific areas.

Density and maturity of fir are the most important factors influencing vulnerability of the forest to budworm. Swaine and Craighead (1924) were the first to note that budworm outbreaks were associated with extensive stands of mature and overmature fir. Since then, this observation has been made by many entomologists and foresters working in several regions of eastern North America. White spruce is scarcer and more resistant to budworm attack than fir, nevertheless, because of the greater number of buds per unit length of branch, it can sustain even higher populations than fir on a branch-length basis. White spruce, proportionately contributes at least as much to maintain budworm populations at outbreak levels as fir, and should be given as much consideration in any hazard-rating scheme. Budworm feed on red spruce (*Picea rubens* Sarg.) and black spruce (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.) and these tree species also contribute to maintaining budworm popu-

lations, however, they offer less favorable conditions than fir or white spruce; pure black spruce stands are seldom killed by the insect. By furnishing part of the food consumed within areas where fir is fairly abundant, red spruce and black spruce contribute to the maintenance of high populations, and this, in turn, affects the vulnerability of fir.

A warm-dry climate favors the budworm while a cool-wet climate is unfavorable (Wellington et al. 1950; Greenbank 1957; Blais and Martineau 1960; Pilon and Blais 1961; Ives 1974). Although weather conditions vary from year to year, the prevailing climate for a given region is predictable. For instance, climate in the Ottawa River watershed is relatively warm and dry compared with that of the Gaspé Peninsula or the Laurentian Park where it is cool and humid.

Forest management units in Quebec were established on the basis of socio-economic criteria. Units based on ecological criteria would have been preferable for rating vulnerability of fir to budworm, however, there was no alternative but to use existing data. Two of the 77 units (51 and 63) were excluded from the exercise (Figure 1) because farmland occupies most of the area, and what forests exist are mainly hardwoods. The inventory data apply to forests on public lands and to a few large private holdings. In Quebec 90% of the forests are publicly-owned, and it is likely that most characteristics of privately-owned forests resemble the publicly-owned ones within a given unit.

DERIVATION OF THE VULNERABILITY INDEX

The vulnerability index (V.I.) described in this section was developed and tested by a working group of Canadian Forestry Service scientists from Newfoundland, the Maritimes, Quebec, and Ontario. Four main factors were retained as a basis for calculating the V.I.:

1) combined merchantable volume of fir and white spruce;
2) percentage of mature fir;
3) merchantable volume of black spruce and red spruce when warranted by a sufficient volume of fir and white spruce;
4) climate.

Various ratings were applied for different values within each factor, and various formulas incorporating the ratings were tried to obtain an acceptable V.I. This was done by comparing the various V.I. values obtained for a given unit with the observed effect of the budworm on fir within that unit. Through this approach, a formula was arrived at which gave the best fit between V.I. values and observed mortality of fir for the greatest number of units.

The final rating for values of each factor being considered, and the method for calculating the V.I. are:

1) Volume of fir and white spruce, and maturity of fir are combined to obtain a volume-maturity rating by:

a) determining a rating for merchantable volume of fir and white spruce

Merchantable volume of fir and white spruce combined (m^3/ha)	Rating
1-6	1
7-13	2
14-20	3
21-27	4
28-34	5
35-41	6
42-48	7
49-55	8
56-62	9
63+	10

b) determining the rating for maturity of fir only

Percentage of mature fir (over 60 years)	Rating
1-20	1
21-40	2
41+	3

c) multiplying volume rating by maturity rating. Thus, a unit with a volume of fir and white spruce of 30 m^3/ha (rating = 5) and 45% mature fir (rating = 3) has a volume-maturity rating of 5 x 3 = 15.

2) Because black spruce and red spruce contribute to the impetus of an outbreak, it was considered that a value should be given to this factor, but only where fir and white spruce are fairly abundant. Areas with a high content of black spruce and low content of fir and white spruce, generally do not sustain high budworm populations over extended periods. The allotted ratings for volume of black spruce and red spruce are the same as that for fir-white spruce shown above. However, this rating is not multiplied by the maturity rating of fir, and is included in calculations for the V.I. only when the volume rating for fir-white spruce is greater than 4 (over 27 m^3/ha).

3) Climate[1] the last factor considered, was given the following ratings:

Climate	Rating
cool-wet	0
cool-dry	4
warm-wet	4
warm-dry	8

warm = mean annual temperature of 2.5°C or more
cool = below 2.5°C
dry = 900 mm/year or less of precipitation
wet = more than 900 mm/year

---

[1] Data for climate were obtained from maps supplied by the Quebec Department of Natural Resources showing distribution of mean annual temperatures and mean annual precipitation.

When part of a unit (1/3 to 1/2) falls in a particular rating for climate, while the remainder is in another rating, the rating for the unit is adjusted accordingly, i.e., if half of a unit has a climate rating of four while the remainder has a rating of zero, climate rating for the unit is two.

The formula for calculating the vulnerability index of fir reads:

V.I.= (Vr x Mr) + Vr2* + Cr

Where Vr = volume rating for fir and white spruce

Vr2 = volume rating for black spruce and red spruce

Mr = maturity rating for fir

Cr = climate rating

*** This volume is added only when Vr > 4**

Following are three examples to illustrate the calculation of V.I. based on the above formula:

1) Unit A: fir and white spruce = 30 m^3/ha (rating 5); fir = 56% mature (rating 3); black spruce = 39 m^3/ha (rating 6); climate is cool and wet (rating 0)
   V.I. = (5 x 3) + 6 + 0 = 21

2) Unit B: fir and white spruce = 18 m^3/ha (rating 3); fir = 52% mature (rating 3); black spruce = 46 m^3/ha (rating 7); climate cool - dry (rating 4).
   V.I. = (3 x 3) + 0 + 4 = 13

3) Unit C: fir and white spruce = 59 m^3/ha (rating 9); fir = 37% mature (rating 2); black spruce = 16 m^3/ha (rating 3); climate ½ of unit warm - dry and ½ cool - dry.
   $V.I.= (9 \times 2) + 3 + \frac{(8 + 4)}{2} = 27$

Using the rating system just described a range of 3-33 was obtained for the V.I. for the 75 management units being considered (Table 2). For

a more workable classification of management units, three vulnerability classes based on the V.I. ratings were established:

A. (high vulnerability) when V.I. > 15

B. (moderate vulnerability) when V.I. is between 8 and 15

C. (low vulnerability) when V.I. is < 8.

On this basis, 28, 23, and 24 units were in the high, moderate, and low vulnerability class (Table 2 and Figure 1). When the ratings were compared with the degree of fir mortality sustained during the current outbreak it became apparent that for 66 of the 75 units (88% of the cases), the actual or imminent mortality was in general accord with that expected. Although the V.I. ratings were high in the management units in the Gaspé Peninsula (13, 14, 15) and in the Lower St. Lawrence region (11, 12, 35), little mortality has occurred because various parts of these two sectors have been treated with insecticides every year for the past seven years; had no treatment been applied, fir mortality would now be extensive throughout these regions. Fir stands in the Gaspé Peninsula and in the Lower St. Lawrence must be considered as highly vulnerable to budworm attack (Table 2 and Figure 1). Areas in certain other regions in Quebec were treated with insecticides, but treatment was not maintained in any one region for more than two or three years; the treatments delayed but did not prevent tree mortality.

The calculated V.I. for nine management units was not in accord with observed damage. The V.I. for units 21, 42-2, 77-2, and 83-1 was lower than expected on the basis of actual mortality of fir in these units, because, although fir stands within these units are relatively scarce, they are affected by the influx of budworm populations from surrounding units where conditions are more favorable to the insect. The vulnerability class for these units was increased (Table 2 and Figure 1). Four units, 23-3, 93-3, 94-3, and 94-4, had V.I. ratings higher than expected on the basis of observed fir mortality. All these units are far north (Figure 1) and it is likely that the prevailing climate is marginal for budworm and that populations cannot maintain themselves at outbreak levels for many years at these latitudes even though some fir stands occur here. Consequently, the vulnerability class for each of these four units was reduced (Table 1 and Figure

1). Finally, the V.I. class for one unit (41) in the St. Maurice River watershed was high, while no trees have yet been killed in this sector. This anomaly cannot be explained. Budworm populations were very high in this unit in 1974 and 1975 and collapsed in 1976, (Lavallée et al. 1976) possibly due to the high incidence of parasitism in 1975 (Paquet and Desaulniers 1975). Fir in this unit suffered high mortality at the time of the two previous outbreaks that affected this part of Quebec, the first about 1910 (Swaine and Craighead 1924) and the second in the late 1940s (Royer 1958). The high rating for this unit was retained (Table 2 and Figure 1).

Table 2. Vulnerability index [a] (V.I.) of fir for each of 75 management units in Quebec based on combined merchantable volume of fir and white spruce, maturity of fir, merchantable volume of black spruce and red spruce, and climate

Unit	Productive forest (ha)	Vol. bF and wS [b] (m^3/ha)	Rating	% of mature bF (60 years)	Rating	Vol. rat. x mat. rat.	Vol. bS and rS [b] (m^3/ha)	Rating	Climate (temp./ prec.)	Rating	V.I.	Vulner. class	Adjusted vulner. class
11	349 290	53.1	8	32	2	16	7.8	2	c/h [c]	4	22	A [d]	- [e]
12	570 750	63.2	10	27	2	20	5.5	1	½/h	2	23	A	-
13	697 650	79.2	10	56	3	30	12.6	2	f/h	0	32	A	-
14	599 880	53.4	8	53	3	24	13.1	2	f/h	0	26	A	-
15	464 820	72.0	10	60	3	30	10.5	2	f/h	0	32	A	-
21	610 140	23.7	4	26	2	8	19.3	3 [h]	f/h	0	8	B	A [f]
22	467 350	9.5	2	44	3	6	19.0	3 [h]	f/h	0	6	C	-
23-1	393 700	47.3	7	71	3	21	24.5	4	f/h	0	25	A	-
23-2	599 960	19.4	3	87	3	9	66.1	10 [h]	f/h	0	9	B	-
23-3	348 050	18.0	3	100	3	9	61.8	9 [h]	f/h	0	9	B	-
24-1	228 260	19.9	3	66	3	3	19.9	3 [h]	f/h	0	9	B	C [g]
24-2	754 270	21.3	4	91	3	12	66.9	10 [h]	f/h	0	9	B	-
24-3	863 190	7.5	2	99	3	6	40.9	6 [h]	f/h	0	12	B	-
24-4	368 390	2.0	1	97	3	3	25.5	4 [h]	f/h	0	6	C	-
25-1	433 640	7.0	2	78	3	6	30.8	5 [h]	f/h	0	3	C	-
25-2	1 643 660	10.5	2	91	3	6	57.3	9 [h]	f/h	4	10	B	-
26-1	609 080	5.0	1	95	3	3	50.2	8 [h]	f/h	0	6	C	-
26-2	685 230	5.9	1	75	3	3	45.2	7 [h]	f/h	0	3	C	-
26-3	911 970	2.1	1	92	3	3	29.4	5 [h]	f/h	0	3	C	-
26-4	575 200	5.3	1	100	3	3	53.2	8 [h]	f/s	4	7	C	-
26-5	772 080	2.1	1	88	3	3	28.0	5 [h]	f/s	4	7	C	-

Table 2 (Cont'd)

Unit	Productive forest (ha)	Vol. bF [b] and wS (m^3/ha)	Rating	% of mature bF (60 years)	Rating	Vol. rat. x mat. rat.	Vol. bS and rS [b] (m^3/ha)	Rating	Climate (temp./ prec.)	Rating	V.I.	Vulner. class	Adjusted vulner. class
27-1	196 730	13.0	2	65	3	6	18.0	3 [h]	f/s	4	10	B	-
27-2	484 420	26.6	4	76	3	12	48.6	8 [h]	f/h	0	12	B	-
27-3	413 390	7.4	2	98	3	6	61.7	9 [h]	f/h	0	6	C	-
31	305 790	39.3	6	46	3	18	9.2	2	½/h	2	22	A	-
32	232 760	45.4	7	27	2	14	16.9	3	f/h	0	17	A	-
33	392 220	34.7	6	56	3	18	22.9	4	f/½	2	24	A	-
34	60 070	48.1	7	70	3	21	19.5	3	c/h	4	28	A	-
35	88 530	60.8	9	51	2	18	14.1	3	c/h	4	25	A	-
41	469 540	24.3	4	66	3	12	13.6	3 [h]	c/½	6	18	A	-
42-1	389 270	19.2	3	34	2	6	16.9	3 [h]	f/h	0	6	C	-
42-2	703 850	12.7	2	57	3	6	36.6	6 [h]	f/h	0	6	C	B [f]
43-1	255 850	18.4	3	35	2	6	16.3	3 [h]	½/h	2	8	B	-
43-2	220 220	14.3	3	43	3	9	22.3	4 [h]	f/h	0	9	B	-
61	296 780	27.3	4	80	3	12	9.8	2 [h]	c/h	4	16	A	-
62	524 470	25.9	4	47	3	12	11.2	2 [h]	c/h	4	16	A	-
71-1	285 840	16.1	3	49	3	9	4.2	1 [h]	c/s	8	17	A	-
71-2	477 450	23.8	4	66	3	12	9.8	2 [h]	c/h	4	16	A	-
72	415 170	20.0	3	87	3	9	3.5	1 [h]	c/s	8	17	A	-
73	184 390	12.3	2	74	3	6	2.7	1 [h]	c/h	4	10	B	-
74	106 070	15.4	3	65	3	9	2.8	1 [h]	c/h	4	13	B	-
75	888 150	27.9	5	81	3	15	16.6	3	f/h	0	18	A	-
76	811 420	28.3	5	78	3	15	11.1	2	f/h	0	17		-
77-1	280 620	23.4	4	91	3	12	2.3	1 [h]	c/h	4	16	A	-
77-2	451 550	23.5	4	60	3	12	17.0	3 [h]	f/h	10	12	B	A [f]
81-1	752 600	18.9	3	68	3	9	7.0	2 [h]	½/½	4	13	B	-

Table 2 (Cont'd)

Unit	Productive forest (ha)	Vol. bF and wS[b] (m^3/ha)	Rating	% of mature bF (60 years)	Rating	Vol. rat. x mat. rat.	Vol. bS and rS[b] (m^3/ha)	Rating	Climate (temp./ prec.)	Rating	V.I.	Vulner. class	Adjusted vulner. class
81-2	216 830	35.7	6	83	3	18	15.4	3	f/h	0	21	A	-
82	435 185	18.5	3	34	2	6	9.2	2[h]	f/s	4	10	B	-
83-2	332 760	20.7	4	70	3	12	16.0	3[h]	f/½	2	14	B	-
83-1	407 900	12.2	2	36	2	4	13.6	3[h]	f/h	0	4	C	B[f]
84	839 430	8.2	2	73	3	6	33.7	5[h]	f/h	0	6	C	-
85-1	387 020	6.1	1	43	3	3	21.1	4[h]	f/½	2	5	C	-
85-2	412 060	3.4	1	94	3	3	51.2	8[h]	f/s	4	7	C	-
85-3	385 210	2.6	1	84	3	3	40.6	6[h]	f/s	4	7	C	-
85-4	340 990	2.2	1	78	3	3	33.9	5[h]	f/s	4	7	C	-
86-1	482 690	4.2	1	64	3	3	29.4	5[h]	f/h	0	3	C	-
86-2	889 700	2.1	1	83	3	3	56.6	9[h]	f/½	2	5	C	-
86-3	371 490	1.4	1	78	3	3	51.7	8[h]	f/s	4	7	C	-
86-4	213 230	1.4	1	77	3	3	44.7	7[h]	f/s	4	7	C	-
87	1 309 530	6.4	1	74	3	3	60.1	9[h]	f/h	0	3	C	-
91	497 100	50.2	8	64	3	24	29.3	5	f/h	0	29	A	-
92-1	290 310	13.3	2	49	3	6	22.9	4[h]	f/s	4	10	B	-
92-2	462 850	23.9	4	86	3	12	62.9	10[h]	f/½	2	14	B	-
93-1	495 460	32.2	5	77	3	15	40.6	6	f/½	2	23	A	-
93-2	984 740	27.3	4	89	3	12	73.4	10[h]	f/h	0	12	S	-
93-3	1 405 960	19.6	3	95	3	9	62.9	10[h]	f/h	0	9	B	C[g]
93-4	1 444 790	3.8	1	94	3	3	20.3	3[h]	f/h	0	3	C	-
94-1	712 850	44.4	7	71	3	21	32.1	5	f/h	0	26	A	-
94-2	497 670	30.6	5	84	3	15	41.6	7	f/h	0	22	A	-
94-3	626 970	16.0	3	92	3	9	46.6	7[h]	f/h	0	9	B	C[g]
94-4	792 420	19.5	3	92	3	9	63.7	10[h]	f/h	0	9	B	C[g]
95-1	842 390	45.1	7	86	3	21	33.4	5	f/h	0	26	A	-

Table 2 (Cont'd)

Unit	Productive forest (ha)	Vol. bF [b] end wS (m^3/ha)	Rating	% of mature bF (60 years)	Rating	Vol. rat. x mat. rat.	Vol. bS and rS [b] (m^3/ha)	Rating	Climate (temp./ prec.)	Rating	V.I.	Vulner. class	Adjusted vulner. class
95-2	754 930	37.9	6	94	3	18	46.5	7	f/h	0	25	A	-
95-3	4 563 970	16.6	3	95	3	9	27.4	4 [h]	f/h	0	9	B	-
96	591 350	57.4	9	79	3	27	12.1	2 [h]	f/s	4	33	A	-

[a] V.I. = volume rating of Fb and wS x maturity rating of Fb + volume rating bS (when volume rating of Fb and wS 4) + climate rating.

[b] Fb = balsam fir, wS = white spruce, bS = black spruce, rSred spruce.

[c] c/h = cold-humid, w/h = warm-humid, c/d = cold-dry, w/d = warm-dry, ½/h = approx. ½ of unit warm-humid and ½ cold-humid.

[d] A = bF high vulnerability, B = bF moderate vulnerability, C = bF low vulnerability.

[e] No adjustment required in vulnerability class.

[f] Vulnerability class increased because unit is greatly exposed to budworm invasion from surrounding areas.

[g] Vulnerability class decreased because climate precludes sustained budworm outbreaks.

[h] Rating of volume of bS and rS not considered in calculation of V.I. because volume rating of Fb and wS is less than 28 m^3/ha.

DISCUSSION

Most management units with a high vulnerability rating are in accessible regions where forest operations in Quebec are concentrated (Figure 1). This increases the importance of losses resulting from depredations by budworm, and provides additional reasons why long-term planning for an integrated forest management program aimed at reducing the effect of future budworm outbreaks should be implemented.

The foregoing vulnerability-rating of forests to budworm attack in Quebec is based on a method that could certainly be improved as more accurate data on various aspects of the forest and climate become available. For instance, average temperature and precipitation for the summer months (at present not available for all units) would reflect more clearly the influence of climate on the insect. More important, forest units based on ecological, rather than socio-political criteria, would improve the accuracy of the ratings. Nevertheless, the method of classification as it stands appears to have considerable merit, since, to a large extent, actual damage is in accord with that predicted. Furthermore, this classification has been applied (with slight modifications) by MacLean (1982) to forests in New Brunswick and Nova Scotia, and there also, predicted damage was in accord with that observed. It is utopic to expect that an absolutely accurate forecasting of the effect of budworm on a forest management unit basis can be made. Unknown and unforeseeable factors, as mentioned earlier, can influence the trend of budworm infestations. However, a hazard-rating of the forest even though it may have shortcomings, could prove very useful in the future.

The recurrence of budworm outbreaks is related to the dynamics of the forest. The probability of a budworm attack increases with an increasing presence of mature fir-spruce stands, since these are a prerequisite to outbreaks by this insect. The reduction in volume of fir resulting from an outbreak is the main reason why budworm populations eventually return to endemic levels. It is only when fir-spruce stands of merchantable size once again occupy extensive areas that another outbreak will develop. A hazard-rating of the various forest management units in Quebec based on data

obtained at the time of each 10-year inventory, could provide a valuable tool for predicting the occurrence of budworm outbreaks. A map depicting the relative vulnerability of fir based on data obtained when the current forest inventory is completed (about 1987) would present a mosaic quite different from the one based on the preceding inventory shown in Figure 1. Several management units would show a lower vulnerability because of recent reductions in volume of fir and white spruce due to budworm. With each succesive decade, volume and age of fir-spruce stands will increase, and eventually approach the level which gave rise to the present outbreak. The relative vulnerability of various management units at of the next outbreak may differ to some extent from that of the 1970s. The volume of fir and white spruce in units having suffered heavy losses during the current infestation, such as in the Ottawa River watershed (Blais 1981) may take longer to reach a condition favorable to budworm than in units where losses were less pronounced, as in areas protected through application of insecticides.

A periodic rating of the vulnerability of forests to budworm attack could provide a warning of an impending outbreak and indicate the units where damage is likely to be severe. Such information would enable the elaboration and eventual implementation of long- and short-term measures that could reduce losses. These measures could include systematic cutting of mature fir-spruce stands, the selection of areas requiring treatment with insecticides and the elaboration of eventual salvage operations. It is imperative that future forest management programs take into account the periodic losses resulting from recurring spruce budworm outbreaks. Such programs should be based on regional differences, not only in socio-economic needs but also in the vulnerability of the forests to attack. In the years to come, a haphazard approach at reducing losses due to budworm will be unacceptable.

ACKNOWLEDGEMENTS

The working group that developed and tested the vulnerability index was led by J.R. Blais and was composed of the following members of the Canadian Forestry Service: L. Archambault, D.A. MacLean, D.P. Ostaff, A.G.

Raske, and W.L. Sippell. The forest inventory data were kindly provided by P. Trudel of the *Service des Plans d'Aménagement*, and D. Demers of the *Service de l'Inventaire forestier* of the Quebec Department of Energy and Resources.

REFERENCES

Blais, J.R. 1964. Account of a recent spruce budworm outbreak in the Laurentide Park region of Quebec and measures for reducing damage in future outbreaks. For. Chron. 40: 313-323.

Blais, J.R. 1977. Comparative appraisal of insecticidal operations against spruce budworm in Quebec during two outbreaks. For. Chron. 53: 71-76.

Blais, J.R. 1981. Mortality of balsam fir and white spruce following a spruce budworm outbreak in the Ottawa River watershed in Quebec. Can. J. For. Res. 11: 620-629.

Blais, J.R. 1983. Les forêts de la Côte Nord au Québec sont-elles sujettes aux déprédations par la tordeuse? For. Chron. 59.

Blais, J.R; Martineau, R. 1960. A recent spruce budworm outbreak in the Lower St.Lawrence and Gaspé with reference to aerial spraying operations. For. Chron. 36: 209-224.

Greenbank, D.O. 1957. The role of climate in the initiation of outbreaks of the spruce budworm in New Brunswick. I. The role of climate. Can. J. Zool. 34: 453-476.

Greenbank, D.O.; Schafer, T.W; Rainey, R.C. 1980. Spruce budworm moth flight and dispersal: new understanding from canopy observations, radar, and aircraft. Mem. Ent. Soc. Can. 110, 49 pp.

Ives, W.G.H. 1974. Weather and outbreaks of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*. Can. For. Serv. Northern For. Res. Centre. Inf. Rep. NOR-X 118. 28 p.

Lavallée, A.; Benoit, P.; Lachance, D.; Béique, R.; Davidson, J.G. 1976. Insectes et maladies des arbres, Québec 1976. For. Conserv. 43: 1-23.

MacLean, D.A. 1980. Vulnerability of fir-spruce stands during uncontrolled spruce budworm outbreaks: a review and discussion. For. Chron. 56: 213-221.

MacLean, D.A. 1982. Vulnerability rating of forests in New Brunswick and Nova Scotia. Can. For. Serv. Maritime For. Res. Centre. Inf. Rep. M-X-132. 21 pp.

McLintock, T.F. 1955. How damage to balsam fir develops after a spruce budworm epidemic. U.S. For. Serv. Northeast. For. Exp. Stn. Stn. Pap. 75.

Ministère de l'Énergie et des Resources du Québec 1981. Problématique de la présente épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette en terrains publics. Special Report. 41 pp.

Ministère des Terres et Forets du Québec. 1975. Suggestion d'un programme de recherche et de développement forestier en regard de la tordeuse. Special Report. 126 pp.

Mott, D.G. 1963. The forest and the spruce budworm. Pages 189-202 *In* R.F. Morris, ed. The dynamics of epidemic spruce budworm populations. Mem. Ent. Soc. Can. No. 31.

Paquet, G.; Desaulniers, R.. 1975. Aerial spraying against the spruce budworm in Quebec in 1975 and plans for 1976. Québec Special Report. Ent. Path. Service, Que. Dept. Lands For. 30 pp.

Pilon, J.G.; Blais, J.R. 1961. Weather and outbreaks of the spruce budworm in the Province of Quebec from 1939 to 1956. Can. Ent. 93: 118-123.

Rowe, J.S. 1972. Forest Regions of Canada. Can. For. Serv. Publ. 1300.

Royer R. 1958. Pertes causées dans la forêt du Québec par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au cours de la présente épidémie. Rapport 38^{e} Assemblée Générale Annuelle Corporation des Ingénieurs Forestiers de la province de Québec: 33-45.

Swaine, J.M.; Craighead, F.C. 1924. Studies on the spruce budworm. Part 1. A general account of the outbreaks, injury and associated insects. Can. Dep. Agric. Tech. Bull. (New Ser.). 37: 3-27.

Wellington, W.G.; Fettes, J.J.; Turner, K.B.; Belyea, R.M. 1950. Physical and biological indicators of the development of outbreaks of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) and the forest tent caterpillar, *Malacosoma disstria* Hbn. Can. J. Zool. 30: 114-127.

Environnement Canada
Service canadien des forêts

Environment Canada
Canadian Forestry Service

Vulnérabilité du sapin baumier aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec

J. R. BLAIS et L. ARCHAMBAULT

Centre de recherches forestières des Laurentides

AU-X-51F

Environment Canada Environnement Canada

GD160246 DESS PVM EXCH CERV DI
SB 761 C32
VOL ISS SER
CENTRE DE RECHERCHES DES LAURENTIDES
S. RAPPORT D'INFORMATION LAU-X

canusa

VULNÉRABILITÉ DU SAPIN BAUMIER AUX ATTAQUES DE LA TORDEUSE DES BOURGEONS DE L'ÉPINETTE AU QUÉBEC

J.R. Blais et L. Archambault

RAPPORT D'INFORMATION
LAU-X-51F

1982

CENTRE DE RECHERCHES FORESTIÈRES DES LAURENTIDES
SERVICE CANADIEN DES FORÊTS
1080 ROUTE DU VALLON
C.P. 3800
SAINTE-FOY (QUÉBEC)
G1V 4C7

Exemplaires disponibles

N° Catalogue Fo46-18/51F

ISBN 0-662-91718-9

ISSN 0703-2196

©Ministère des approvisionnements et services Canada 1982

Also available in English under the title

Rating vulnerability of balsam fir to spruce budworm attack in Quebec

Couverture: Lucil LePage

TABLE DES MATIÈRES

	Page
RÉSUMÉ	
ABSTRACT	
INTRODUCTION	1
CRITÈRES SERVANT A DÉTERMINER L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ	3
CALCUL DE L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ	7
DISCUSSION	17
REMERCIEMENTS	19
RÉFÉRENCES	19

LISTE DES TABLEAUX ET FIGURE

Tableau 1. Superficie totale annuelle comportant de la mortalité d'arbres causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette suite à la présente invasion au Québec 2

Tableau 2. Indice de vulnérabilité (I.V.) du sapin dans chacune des 75 unités d'aménagement au Québec, basé sur le volume marchand combiné de sapin et d'épinette blanche, sur la maturité du sapin, sur le volume marchand d'épinette noire et d'épinette rouge et sur le climat 13

Figure 1. Indice de vulnérabilité des unités d'aménagement de forêts publiques du Québec évalué à partir des données d'inventaire forestier et des cartes de mortalité du sapin causée par la tordeuse. 5

RÉSUMÉ

Un groupe de travail constitué de scientifiques du Service canadien des Forêts de l'Ontario, du Québec, des Maritimes et de Terre-Neuve a developé un système de classification des forêts quant a leur vulnérabilité aux attaques par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)). Les données des inventaires forestiers pour le Québec ainsi que celles sur les dégats occasionnés par l'insecte se prêtaient particulièrement bien à l'élaboration et à l'application d'un tel système. L'indice de vulnérabilité fut calculé par unité d'aménagement. Le calcul de l'indice fut basé sur le volume du sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et d'épinette blanche (*Picea glauca* (Moench) Voss), la maturité du sapin, le volume d'épinette noire (*P. mariana* (Mill.) B.S.P.) et d'épinette rouge (*P. rubens* Sarg.), ainsi que sur un bilan climatique en fonction de la température et de la précipitation. Le calcul de l'indice de vulnérabilité pour 75 unités d'aménagement a montré que les résultats correspondaient aux dégats observés. L'application de cette classification pourrait servir à la prédiction d'invasions de la tordeuse, ainsi qu'à l'élaboration et l'application de plans d'aménagement à court et à long terme.

Blais, J.R.; Archambault, L. 1982. Vulnérabilité du sapin baumier aux attaques de la tordeuse des bourgeons de l'épinette au Québec. Serv. Can. For. Centre Rech. For. Laurentides. LAU-X-51F.

ABSTRACT

A working Group of Canadian Forestry Service scientists from Ontario, Quebec, the Maritimes, and Newfoundland developed a classification of forests with respect to their vulnerability to spruce budworm (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) attack. Forest inventory and current budworm damage data for Quebec were particularly suitable to the elaboration and the testing of a vulnerability rating system. The vulnerability index was calculated on a forest management unit basis and was based on the volume of balsam fir (*Abies balsamea* (L.) Mill.) and white spruce (*Picea glauca* (Moench) Voss), the maturity of fir, the volume of black spruce (*P. mariana* (Mill.) B.S.P.) and red spruce (*P. rubens* Sarg.), and a climate rating based on temperature and precipitation. Calculation of the vulnerability index for each of 75 forest management units showed good accord between the results and actual damage. The application of the system for providing advance warning of future outbreaks and for assisting in the preparation and the implementation of short- and long-term forest management practices is discussed.

Blais, J.R.; Archambault, L. 1982. Rating vulnerability of balsam fir to spruce budworm attack in Quebec. Can. For. Serv. Laurentian For. Res. Centre. LAU-X-51.

INTRODUCTION

Les invasions de la tordeuse des bourgeons de l'épinette (*Choristoneura fumiferana* (Clem.)) se produisent dans l'est de l'Amérique du Nord où le sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Mill.) et l'épinette blanche (*Picea glauca*) (Moench) Voss sont des composantes majeures de la forêt. Ces essences sont communes au Québec et se retrouvent réparties sur de vastes territoires. Dans cette province, les plus fortes concentrations de sapin et d'épinette blanche se situent au centre et au sud de la région forestière boréale et dans la partie nord de la région forestière des Grands Lacs et du Saint-Laurent (Rowe 1972). Le sapin, l'hôte le plus important de la tordeuse, et l'épinette blanche comptent respectivement pour 22 et 5% du volume ligneux (ministère des Terres et Forêts du Québec 1975). Il n'est donc pas surprenant que les forêts du Québec soient sujettes aux attaques de la tordeuse. Depuis le début du siècle, trois invasions de la tordeuse se sont produites au Québec, le début de chacune se situant vers 1910, 1940 et 1967. Ces invasions ont affecté la plupart des peuplements de sapin de la province et ont duré plusieurs années. Les deux premières n'ont pris fin qu'avec la destruction d'une grande partie des sapins de grosseur marchande. Swaine et Craighead (1924) ont évalué à 150 millions de cordes (544 millions de m^3) les pertes encourues lors de l'épidémie de 1910, soit plus que l'actuelle production annuelle de bois de pulpe dans le monde. Les évaluations de ces auteurs sont probablement élevées, mais elles donnent une idée de l'ampleur des dégats. Le calcul des pertes, pour des régions comme le bassin de la rivière Gatineau (McLintock 1955), la péninsule de Gaspé (Blais et Martineau 1960) et la réserve des Laurentides (Blais 1964), indique que la quantité totale de bois détruit au Québec durant l'invasion de 1940 a aussi été très considérable. Bien que l'invasion en cours ne soit pas encore terminée, déjà d'importantes quantités de bois ont été détruites dans nombre de régions depuis la frontière de l'Ontatio jusqu'à l'Ile d'Anticosti et la Côte Nord (ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec 1981). D'après les inventaires aériens effectués chaque année par la Direction de la Conservation du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec, on note que la mortalité des arbres progresse d'année en année (Tableau 1). Dans le bassin

Tableau 1. Superficie totale annuelle comportant de la mortalité d'arbres causée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette suite à la présente invasion au Québec[a].

Année	Superficie totale en millions de ha
1974	1,0
1975	3,0
1976	3,81
1977	5,67
1978	6,30
1979	8,30
1980	9,25
1981	10,20

[a] D'après des données du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec

de la rivière Outaouais, où l'invasion actuelle a commencé, environ 90% des sapins et 50% des épinettes blanches de grosseur marchande étaient détruits en 1979 (Blais 1981). Les arbres continueront à mourir pendant un certain nombre d'années dans bien des régions et les pertes de bois attribuées à la présente invasion seront de nouveau très élevées.

La destruction périodique de grandes quantités de bois pose un réel problème aux aménagistes forestiers. On peut prévoir que le problème deviendra de plus en plus aigu car la demande de produits forestiers augmente tandis que les réserves de bois s'amenuisent. Les conséquences socio-économiques des invasions de tordeuses à venir seront encore plus graves que par le passé.

Au cours des 30 dernières années, on a tenté à plusieurs reprises d'établir une relation entre la mortalité du sapin provoquée par la tordeuse et les caractéristiques des peuplements comme l'âge et la composition. Dans sa revue bibliographique, MacLean (1980) conclut que ces tentatives n'ont pas été particulièrement réussies. Pour prédire les dommages causés par la tor-

deuse, les caractéristiques des peuplements peuvent être d'une certaine utilité quand ceux-ci sont en marge des grands centres d'invasions. Toutefois à l'intérieur de vastes étendues infestées, les populations peuvent demeurer élevées pendant plusieurs années même dans des peuplements moins favorables à l'insecte. Ces peuplements peuvent subir d'importants dommages par suite d'invasions répétées en provenance de peuplements environnants, réduisant ainsi l'utilité des critères dendrométriques comme outil de prédiction de la vulnérabilité des peuplements aux déprédations de l'insecte. La vulnérabilité du sapin est donc plus facile à prévoir pour une région que pour un peuplement. Le terme vulnérabilité réfère à la probabilité de mortalité des arbres résultant d'une attaque par opposition au terme susceptibilité qui désigne la probabilité qu'une forêt soit attaquée par la tordeuse des bourgeons de l'épinette (Mott 1963).

Au cours des invasions de 1940 et 1967, une partie limitée des aires infestées a fait l'objet de traitements à l'insecticide avec des succès pouvant être qualifiés de modérés à bons (Blais 1977). On a de plus procédé à certaines coupes de récupération. Toutefois ces actions ne furent que ponctuelles, aucun plan d'action d'ensemble n'étant prévu pour minimiser les pertes. Une stratégie de ce genre devrait obligatoirement tenir compte des particularités régionales. En effet, la vulnérabilité du sapin, l'accessibilité des forêts et l'importance relative du bois dans l'économie varient énormément d'une région à l'autre. Tout plan d'aménagement visant à réduire les pertes causées par la tordeuse devrait être basé sur une évaluation de la vulnérabilité des forêts à l'insecte.

CRITÈRES SERVANT A DÉTERMINER L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ

A l'aide de données récentes provenant de deux sources, à savoir les inventaires forestiers et les cartes de mortalité des arbres causée par la tordeuse, nous avons mis au point une classification des forêts du Québec quant à leur vulnérabilité aux déprédations de la tordeuse des bourgeons de l'épinette. En 1970, le Service de l'Inventaire forestier du Ministère des Terres et Forêts du Québec mettait sur pied le programme d'inventaire décennal des 77 unités d'aménagement de la province (Figure 1). Le premier de ces

inventaires fut complété en 1977. Dans presque toutes les unités d'aménagement, l'inventaire a eu lieu avant que les arbres ne soient décimés par la tordeuse; les unités où la mortalité des arbres a débuté (dans la partie ouest du Québec) sont celles où l'inventaire fut complété en premier. Depuis plusieurs années, le personnel de la Direction de la Conservation du Ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec procède à des inventaires terrestres et aériens pour déterminer les pertes dues à la tordeuse. Les données ainsi recueillies servent à la préparation de cartes illustrant la localisation et le degré de la mortalité d'arbres pour toutes les régions de la province. Les cartes réalisées en 1981 servirent à l'évaluation des dégats actuels causés par la tordeuse pour chacune des unités d'aménagement. Les régions de la moyenne et de la basse Côte Nord font l'objet d'inventaires moins intensifs, et pour remédier à cette lacune, les auteurs ont effectué en 1981 des inventaires aériens et terrestres spéciaux afin d'obtenir une meilleure évaluation des effets de la tordeuse dans ce secteur (Blais 1983). La défoliation se continue dans certains secteurs du Québec, et particulièrement dans la partie est de la province. Dans les régions où l'on n'a pas recours aux insecticides, tout dommage supplémentaire peut être prédit de façon assez précise à ce stade avancé de l'invasion. Parce que l'inventaire qui a servi à mettre au point l'indice de vulnérabilité a été réalisé avant que les dommages par la tordeuse ne débute il a été possible de valider l'indice de vulnérabilité en comparant la mortalité actuelle à celle qui avait été prévue juste avant l'épidémie.

La tordeuse des bourgeons de l'épinette se nourrit habituellement des nouvelles pousses, et la destruction répétée du feuillage de l'année provoque la mort de l'arbre. Les sapins baumiers de taille commerciale succombent après environ cinq ans de défoliation sévère (75% et plus). L'intensité de la défoliation dépend du nombre d'insectes, qui peut fluctuer d'une année à l'autre. Les populations d'insectes sont influencées par plusieurs facteurs dont certains seulement sont prévisibles. Les facteurs imprévisibles peuvent changer sur de courtes périodes; ce sont des éléments comme la température, les facteurs de contrôle naturels y compris les parasites et les prédateurs et l'immigration de populations sous forme de nuées massives de

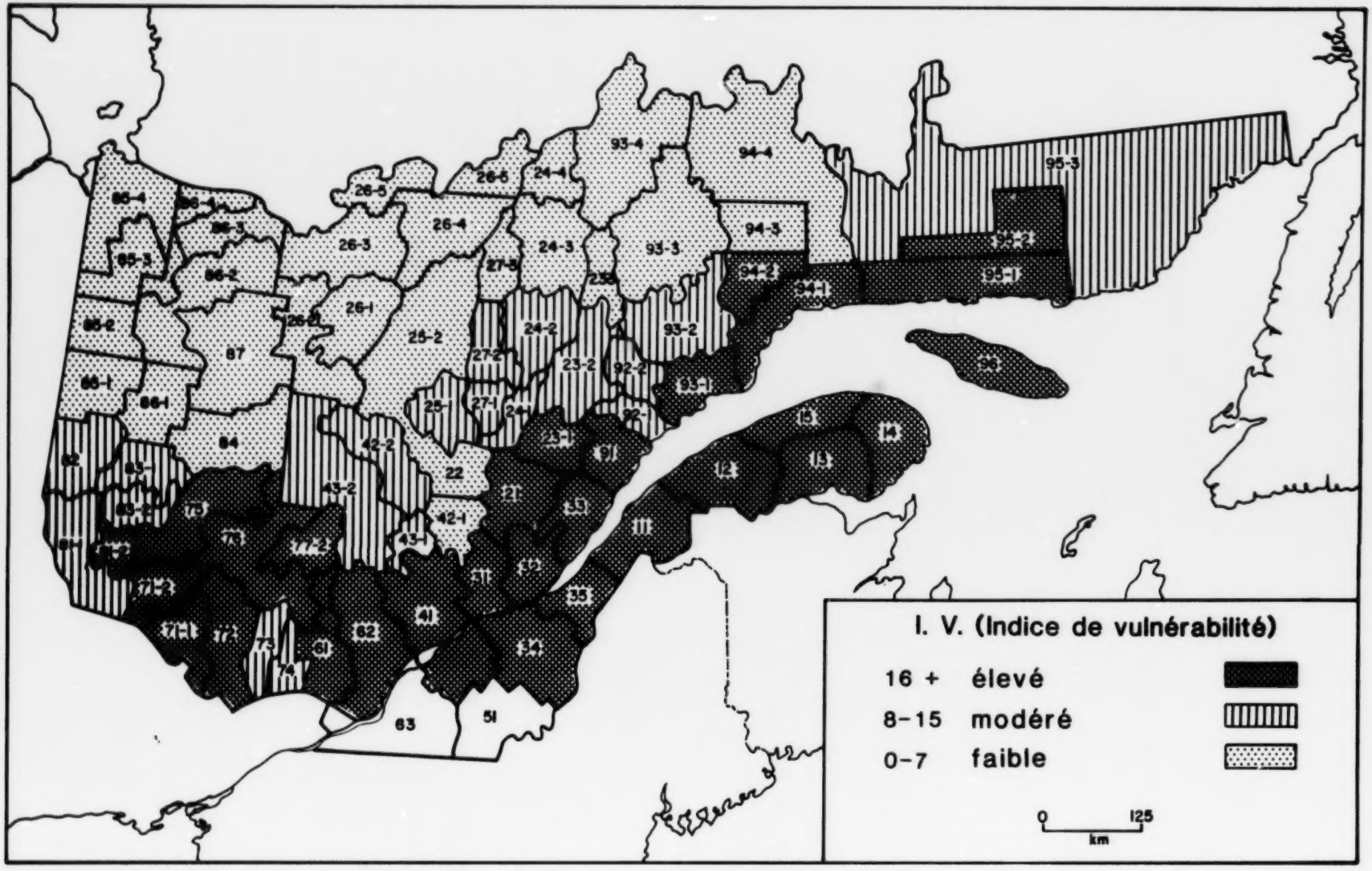

Figure 1. Indice de vulnérabilité des unités d'aménagement de forêts publiques du Québec évalué à partir des données d'inventaire forestier et des cartes de mortalité du sapin causée par la tordeuse.

papillons (Greenbank et al. 1980). Parmi les facteurs prévisibles, il y a la composition de la forêt, l'âge des peuplements de sapin et d'épinette et le climat. La composition et l'âge de la forêt changent graduellement tandis que le climat est plus ou moins stable. Seuls les facteurs prévisibles peuvent entrer en ligne de compte pour mesurer la vulnérabilité relative des sapins pour une région donnée.

La densité et la maturité du sapin sont les facteurs qui influencent le plus la vulnérabilité de la forêt à la tordeuse. Swaine et Craighead (1924) furent les premiers à noter que les invasions de tordeuses étaient associées à de vastes peuplements de sapins mûrs et surannés. Depuis, cette même observation a été faite par de nombreux entomologistes et forestiers travaillant dans plusieurs régions de l'est de l'Amérique du Nord. L'épinette blanche est plus rare et plus résistante que le sapin aux attaques de la tordeuse, mais à cause du nombre plus grand de bourgeons par longueur unitaire de branche, elle peut soutenir des populations encore plus grandes que le sapin, pour une même longueur de branche. L'épinette blanche contribue proportionnellement au moins autant que le sapin à maintenir les populations de tordeuses au niveau épidémique et devrait par conséquent recevoir autant d'attention lorsqu'il s'agit d'établir une évaluation du risque. La tordeuse se nourrit aussi de l'épinette rouge (*Picea rubens* Sarg.) et de l'épinette noire (*Picea mariana* (Mill.) B.S.P.), mais ces essences offrent à l'insecte des conditions moins favorables que le sapin et l'épinette blanche. Les peuplements purs d'épinette noire sont rarement détruits par l'insecte. En fournissant une partie de la nourriture consommée dans les secteurs où le sapin est assez abondant, l'épinette rouge et l'épinette noire contribuent à maintenir les populations élevées, ce qui, en retour, a un effet sur la vulnérabilité du sapin.

Un climat chaud et sec est favorable à la tordeuse tandis qu'un climat frais et humide lui est défavorable (Wellington et al. 1950; Greenbank 1957; Blais et Martineau 1960; Pilon et Blais 1961; Ives 1974). Même si les conditions atmosphériques varient d'une année à l'autre, le climat d'une région est connu. Par exemple, le climat dans le bassin de la rivière

Outaouais est relativement chaud et sec comparé à celui de la péninsule de Gaspé ou de la Réserve des Laurentides, où il est frais et humide.

Les limites des unités d'aménagement au Québec ont été déterminées en fonction de critères socio-économiques. Cependant pour évaluer la vulnérabilité du sapin il aurait été préférable de se baser sur des unités conçues à partir de critères écologiques, mais nous n'avions d'autre choix que d'utiliser les données existantes. Deux des 77 unités (51 et 63) ont été exclues de l'étude (Figure 1) parce que les terres agricoles en occupent la plus grande partie et que les forêts présentes sont surtout constituées de feuillus. Les données de l'inventaire s'appliquent aux forêts publiques et à quelques grandes propriétés privées. Au Québec, 90% des forêts sont publiques mais pour une unité donnée on peut supposer que leurs caractéristiques sont représentatives de celles des forêts privées.

CALCUL DE L'INDICE DE VULNÉRABILITÉ

L'indice de vulnérabilité (I.V.) décrit ici a été mis au point par un groupe de travail composé de scientifiques du Service canadien des Forêts de Terre-Neuve, des Maritimes, du Québec et de l'Ontario. Quatre principaux facteurs ont été retenus pour calculer l'I.V.:

1) le volume marchand combiné de sapin et d'épinette blanche;
2) le pourcentage de sapin à maturité;
3) le volume marchand d'épinette noire et d'épinette rouge lorsque le volume de sapin et d'épinette blanche dépasse un niveau donné;
4) le climat.

Diverses cotes ont été appliquées aux valeurs de chaque facteur et plusieurs formules incorporant les cotes ont été essayées pour obtenir un I.V. acceptable. En comparant les diverses valeurs de l'I.V. obtenues pour une unité donnée avec l'effet observé de la tordeuse sur le sapin, nous avons choisi la formule qui s'adaptait le mieux à la mortalité observée du sapin dans le plus grand nombre d'unités.

Les cotes définitives pour les valeurs de chaque facteur retenu ainsi que la méthode de calcul de l'I.V. sont les suivantes:

1) Le volume de sapin et d'épinette blanche et la maturité du sapin sont combinés pour obtenir une cote du volume-maturité; pour ce faire, il faut:

a) déterminer une cote pour le volume marchand de sapin et d'épinette blanche

Volume marchand combiné de sapin et d'épinette blanche (m^3/ha)	Cote
1-6	1
7-13	2
14-20	3
21-27	4
28-34	5
35-41	6
42-48	7
49-55	8
56-62	9
63+	10

b) déterminer la cote pour la maturité du sapin seulement

Pourcentage de sapin à maturité (plus de 60 ans)	Cote
1-20	1
21-40	2
41+	3

c) multiplier la cote du volume par la cote de la maturité. Ainsi, une unité qui a un volume de sapin et d'épinette blanche de 30 m^3/ha (cote = 5) et 45% de sapin à maturité (cote = 3) a une cote du volume-maturité de 5 x 3 = 15.

2) Étant donné que l'épinette noire et l'épinette rouge peuvent contribuer au maintien des populations, on a jugé qu'il y aurait lieu de donner une valeur à ce facteur, mais seulement là où le sapin et l'épinette blanche sont assez abondants. Les aires à forte teneur en épinettes noire et à faible teneur en sapin et en épinette blanche, ne supportent généralement pas de fortes populations de tordeuses pendant de longues périodes. Les cotes accordées pour le volume d'épinette noire et d'épinette rouge sont identiques à celles indiquées ci-dessus pour le sapin et l'épinette blanche. Toutefois, cette cote n'est pas multipliée par la cote de maturité du sapin et elle n'entre dans les calculs de l'I.V. que lorsque la cote du volume du sapin et de l'épinette blanche est supérieure à 4 (plus de 27 m^3/ha).

3) Les cotes suivantes ont été accordées au dernier facteur considéré, le climat[1]:

Climat	Cote
frais - humide	0
frais - sec	4
chaud - humide	4
chaud - sec	8

chaud = température annuelle moyenne de 2,5° C ou plus
frais = au-dessous de 2,5° C
sec = précipitation annuelle inférieure à 900 mm
humide= plus de 900 mm par année

---

[1] Les données climatologiques sont tirées de cartes fournies par le ministère des Ressources naturelles du Québec où figure la répartition des températures annuelles moyennes et des précipitations annuelles moyennes.

Lorsqu'une partie d'unité (1/3 à 1/2) obtient une certaine cote pour le climat tandis que le reste en obtient une autre, la cote pour l'unité est ajustée en conséquence, en d'autres termes, si la moitié d'une unité a une cote du climat de quatre, tandis que le reste a une cote de zéro, la cote du climat, pour l'unité, est de deux.

La formule pour calculer l'indice de vulnérabilité du sapin est la suivante:

I.V. = (cV x cM) + cV2* + cC

Lorsque cV = cote du volume pour le sapin et l'épinette blanche
cV2 = cote du volume pour l'épinette noire et l'épinette rouge
cM = cote de maturité pour le sapin
cC = cote du climat

*** Ce volume est additionné seulement lorsque cV > 4.**

Voici maintenant trois exemples pour illustrer le calcul de l'I.V. d'après la formule ci-dessus:

1) Unité A: sapin et épinette blanche = 30 m^3/ha (cote 5); sapin = 56% à maturité (cote 3); épinette noire = 39 m^3/ha (cote 6); climat frais - humide (cote 0)
I.V. = (5 x 3) + 6 + 0 = 21

2) Unité B = sapin et épinette blanche = 18 m^3/ha (cote 3); sapin = 52% à maturité (cote 3); épinette noire = 46 m^3/ha (cote 7); climat frais - sec (cote 4).
I.V. = (3 x 3) + 0 + 4 = 13

3) Unité C: sapin et épinette blanche = 59 m^3/ha (cote 9); sapin = 37% à maturité (cote 2); épinette noire = 16 m^3/ha (cote 3); climat: la moitié de l'unité chaud - sec et la moitié frais - sec.
I.V. = (9 x 2) + 3 + $\frac{(8 + 4)}{}$ = 27

A l'aide du système de cotes que nous venons de décrire, on a obtenu un indice de vulnérabilité variant entre 3 et 33 pour les 75 unités d'aménagement étudiées (Tableau 2). Afin d'obtenir une classification des unités d'aménagement plus facilement utilisable, trois classes de vulnérabilité ont été déterminées, d'après les indices de vulnérabilité mesurés, à savoir:

Classe de vulnérabilité:

A. (vulnérabilité élevée) lorsque I.V. > 15

B. (vulnérabilité modérée) lorsque I.V. se situe entre 8 et 15

C. (vulnérabilité faible) lorsque I.V. < 8.

Selon cette méthode, 28, 23 et 24 unités se situaient respectivement dans la classe de vulnérabilité élevée, modérée et faible (Tableau 2 et Figure 1). En comparant les indices de vulnérabilité au degré de mortalité de sapin observé pendant la présente invasion, on constate que dans 66 des 75 unités (88% des cas), la mortalité réelle ou imminente correspondait généralement aux prévisions. Même si les indices de vulnérabilité étaient élevés dans les unités d'aménagement de la péninsule de Gaspé (13, 14, 15) et dans la région du Bas-Saint-Laurent (11, 12, 35), la mortalité a été faible parce que diverses parties de ces deux territoires ont été traitées aux insecticides chaque année depuis sept ans; si aucun traitement n'avait été appliqué, la mortalité du sapin serait présentement importante partout dans ces régions. On doit considérer les peuplements de sapin de la péninsule de Gaspé et du Bas-Saint-Laurent comme hautement vulnérables aux attaques de la tordeuse (Tableau 2 et Figure 1). Des secteurs dans d'autres régions du Québec ont aussi été traités aux insecticides mais le traitement n'a nulle part été appliqué pendant plus de deux ou trois ans; les traitements ont retardé la mortalité des arbres mais ne l'ont pas empêchée.

Dans neuf unités d'aménagement, l'indice de vulnérabilité calculé ne correspondait pas aux dommages observés. L'indice de vulnérabilité pour les unités 21, 42-2, 77-2 et 83-1 prévoyait une mortalité plus faible que la mortalité effectivement survenue. Dans ces unités les peuplements de sapin sont relativement rares mais il sont soumis à l'invasion de populations de tordeuses des unités environnantes, où les conditions sont plus favorables à

l'insecte. La classe de vulnérabilité de ces unités a donc été augmentée (Tableau 2 et Figure 1). Quatre unités 23-3, 93-3, 94-3 et 94-4, présentaient des indices de vulnérabilité prévoyant une mortalité plus forte que la mortalité réellement observée. Toutes ces unités sont situées très au nord (Figure 1) où le climat est probablement peu favorable à la tordeuse; les populations ne peuvent se maintenir à l'état épidémique pendant de nombreuses années sous ces latitudes, même si l'on y rencontre quelques peuplements de sapin. En conséquence, on a réduit la classe de vulnérabilité de chacune de ces quatre unités (Tableau 1 et Figure 1). Enfin, dans une unité (41) du bassin de la rivière Saint-Maurice, la classe de vulnérabilité était élevée bien qu'aucun arbre n'ait encore été détruit. L'on ne peut expliquer cette anomalie. Les populations de tordeuses étaient très élevées dans cette unité en 1974 et en 1975 et se sont effondrées brusquement en 1976 (Lavallée et al. 1976) peut-être en raison de la haute incidence du parasitisme en 1975 (Paquet et Desaulniers 1975). Dans cette unité, les sapins avaient connu un taux élevé de mortalité au moment des deux invasions antérieures qui ont touché cette partie du Québec, la première vers 1910 (Swaine et Craighead 1924) et la seconde, à la fin des années 1940 (Royer 1958). La cote élevée a été maintenue pour cette unité (Tableau 2 et Figure 1).

Tableau 2. Indice de vulnérabilité [a] (I.V.) du sapin dans chacune des 75 unités d'aménagement au Québec, basé sur le volume marchand combiné de sapin et d'épinette blanche, sur la maturité du sapin, sur le volume marchand d'épinette noire et d'épinette rouge et sur le climat.

Unité	Superficie forestière productive (ha)	Vol. Sb et Eb [b] (m^3/ha)	Cote	% de Sb mature (60 ans)	Cote	Cote Vol. x cote mat.	Vol. En et Er [b] (m^3/ha)	Cote	Climat (temp./ préc.)	Cote	I.V.	Classe de vulnérabilité	Classe de vulnérabilité ajustée
11	349 290	53,1	8	32	2	16	7,8	2	c/h [c]	4	22	A [d]	- [e]
12	570 750	63,2	10	27	2	20	5,5	1	h/h	2	23	A	-
13	697 650	79,2	10	56	3	30	12,6	2	f/h	0	32	A	-
14	599 880	53,4	8	53	3	24	13,1	2	f/h	0	26	A	-
15	464 820	72,0	10	60	3	30	10,5	2	f/h	0	32	A	-
21	610 140	23,7	4	26	2	8	19,3	3 [h]	f/h	0	8	B	A [f]
22	467 350	9,5	2	44	3	6	19,0	3 [h]	f/h	0	6	C	-
23-1	393 700	47,3	7	71	3	21	24,5	4	f/h	0	25	A	-
23-2	599 960	19,4	3	87	3	9	66,1	10 [h]	f/h	0	9	B	-
23-3	348 050	18,0	3	100	3	9	61,8	9 [h]	f/h	0	9	B	C [g]
24-1	228 260	19,9	3	66	3	3	19,9	3 [h]	f/h	0	9	B	-
24-2	754 270	21,3	4	91	3	12	66,9	10 [h]	f/h	0	12	B	-
24-3	863 190	7,5	2	99	3	6	40,9	6 [h]	f/h	0	6	C	-
24-4	368 390	2,0	1	97	3	3	25,5	4 [h]	f/h	0	3	C	-
25-1	433 640	7,0	2	78	3	6	30,8	5 [h]	f/h	4	10	B	-
25-2	1 643 660	10,5	2	91	3	6	57,3	9 [h]	f/h	0	6	C	-
26-1	609 080	5,0	1	95	3	3	50,2	8 [h]	f/h	0	3	C	-
26-2	685 230	5,9	1	75	3	3	45,2	7 [h]	f/h	0	3	C	-
26-3	911 970	2,1	1	92	3	3	29,4	5 [h]	f/s	4	7	C	-
26-4	575 200	5,3	1	100	3	3	53,2	8 [h]	f/s	4	7	C	-
26-5	772 080	2,1	1	88	3	3	28,0	5 [h]	f/s	4	7	C	-

Tableau 2. (Suite)

Unité	Superficie forestière productive (ha)	Vol. Sb et Eb [b] (m^3/ha)	Cote	% de Sb mature (60 ans)	Cote	Cote Vol. x cote mat.	Vol. En et Er [b] (m^3/ha)	Cote	Climat (temp./ préc.)	Cote	I.V.	Classe de vulnérabilité	Classe de vulnérabilité ajustée
27-1	196 730	13,0	2	65	3	6	18,0	3 [h]	f/s	4	10	B	-
27-2	484 420	26,6	4	76	3	12	48,6	8 [h]	f/h	0	12	B	-
27-3	413 390	7,4	2	95	3	6	61,7	9 [h]	f/h	0	6	C	-
31	305 790	39,3	6	46	3	18	9,2	2	½/h	2	22	A	-
32	232 760	45,4	7	27	2	14	16,9	3	f/h	0	17	A	-
33	392 220	34,7	6	56	3	18	22,9	4	f/½	2	24	A	-
34	60 070	48,1	7	70	3	21	19,5	3	c/h	4	28	A	-
35	88 530	60,8	9	31	2	18	14,1	3	c/h	4	25	A	-
41	469 540	24,3	4	66	3	12	13,6	3 [h]	c/½	6	18	A	-
42-1	389 270	19,2	3	34	2	6	16,9	3 [h]	f/h	0	6	C	-
42-2	703 850	12,7	2	57	3	6	36,6	6 [h]	f/h	0	6	C	B [f]
43-1	255 850	18,4	3	35	2	6	16,3	3 [h]	½/h	2	8	B	-
43-2	220 220	14,3	3	43	3	9	22,3	4 [h]	f/h	0	9	B	-
61	296 780	27,3	4	80	3	12	9,8	2 [h]	c/h	4	16	A	-
62	524 470	25,9	4	47	3	12	11,2	2 [h]	c/h	4	16	A	-
71-1	285 840	16,1	3	49	3	9	4,2	1 [h]	c/s	8	17	A	-
71-2	477 450	23,8	4	66	3	12	9,8	2 [h]	c/h	4	16	A	-
72	415 170	20,0	3	87	3	9	3,5	1 [h]	c/s	8	17	A	-
73	184 390	12,3	2	74	3	6	2,7	1 [h]	c/h	4	10	B	-
74	106 070	15,4	3	65	3	9	2,8	1 [h]	c/h	4	13	B	-
75	888 150	27,9	5	81	3	15	16,6	3	f/h	0	18	A	-
76	811 420	28,3	5	78	3	15	11,1	2	f/h	0	17		-
77-1	280 620	23,4	4	91	3	12	2,3	1 [h]	c/h	4	16	A	-
77-2	451 550	23,5	4	60	3	12	17,0	3 [h]	f/h	10	12	B	A [f]
81-1	752 600	18,9	3	68	3	9	7,0	2 [h]	½/½	4	13	B	-

Tableau 2. (Suite)

Unité	Superficie forestière productive (ha)	Vol. Sb [b] et Eb (m^3/ha)	Cote	% de Sb mature (60 ans)	Cote	Cote Vol. x cote mat.	Vol. En et Er [b] (m^3/ha)	Cote	Climat (temp./ préc.)	Cote	I.V.	Classe de vulnérabilité	Classe de vulnérabilité ajustée
81-2	216 830	35,7	6	83	3	18	15,4	3	f/h	0	21	A	-
82	435 185	18,5	3	34	2	6	9,2	2 [h]	f/s	4	10	B	-
83-2	332 760	20,7	4	70	3	12	16,0	3 [h]	f/½	2	14	B	-
83-1	407 900	12,2	2	36	2	4	13,6	3 [h]	f/h	0	4	C	B [f]
84	839 430	8,2	2	73	3	6	33,7	5 [h]	f/h	0	6	C	-
85-1	387 020	6,1	1	43	3	3	21,1	4 [h]	f/½	2	5	C	-
85-2	412 060	3,4	1	94	3	3	51,2	8 [h]	f/s	4	7	C	-
85-3	385 210	2,6	1	84	3	3	40,6	6 [h]	f/s	4	7	C	-
85-4	340 990	2,2	1	78	3	3	33,9	5 [h]	f/s	4	7	C	-
86-1	482 690	4,2	1	64	3	3	29,4	5 [h]	f/h	0	3	C	-
86-2	889 700	2,1	1	83	3	3	56,6	9 [h]	f/½	2	5	C	-
86-3	371 490	1,4	1	78	3	3	51,7	8 [h]	f/s	4	7	C	-
86-4	213 230	1,4	1	77	3	3	44,7	7 [h]	f/s	4	7	C	-
87	1 309 530	6,4	1	74	3	3	60,1	9 [h]	f/h	0	3	C	-
91	497 100	50,2	8	64	3	24	29,3	5	f/h	0	29	A	-
92-1	290 310	13,3	2	49	3	6	22,9	4 [h]	f/s	4	10	B	-
92-2	462 850	23,9	4	86	3	12	62,9	10 [h]	f/½	2	14	B	-
93-1	495 460	32,2	5	77	3	15	40,6	6	f/½	2	23	A	-
93-2	984 740	27,3	4	89	3	12	73,4	10 [h]	f/h	0	12	B	-
93-3	1 405 960	19,6	3	95	3	9	62,9	10 [h]	f/h	0	9	B	C [g]
93-4	1 444 790	3,8	1	94	3	3	20,3	3 [h]	f/h	0	3	C	-
94-1	712 850	44,4	7	71	3	21	32,1	5	f/h	0	26	A	-
94-2	497 670	30,6	5	84	3	15	41,6	7	f/h	0	22	A	-
94-3	626 970	16,0	3	92	3	9	46,6	7 [h]	f/h	0	9	B	C [g]
94-4	792 420	19,5	3	92	3	9	63,7	10 [h]	f/h	0	9	B	C [g]
95-1	842 390	45,1	7	86	3	21	33,4	5	f/h	0	26	A	-

Tableau 2. (Suite)

Unité	Superficie forestière productive (ha)	Vol. Sb [b] et Eb (m^3/ha)	Cote	% de Sb mature (60 ans)	Cote	Cote Vol. x cote mat.	Vol. En et Er [b] (m^3/ha)	Cote	Climat (temp./ préc.)	Cote	I.V.	Classe de vulnérabilité	Classe de vulnérabilité ajustée
95-2	754 950	37,9	6	94	3	18	46,5	7	f/h	0	25	A	-
95-3	4 563 970	16,6	3	95	3	9	27,4	4 [h]	f/h	0	9	B	-
96	591 350	57,4	9	79	3	27	12,1	2 [h]	f/s	4	33	A	-

a I.V. = cote du volume du Sb + Eb x cote de maturité du Sb + cote du volume En (lorsque la cote du volume de Sb et Eb 4)

b Sb = Sapin baumier, Eb = Epinette blanche En = Epinette noire, Er = Epinette rouge.

c f/h = frais - humide, c/h = chaud - humide, f/s = frais - sec, c/s = chaud - sec, ½/h = environ la moitié de l'unité chaud - humide et la moitié frais - humide.

d A = Vulnérabilité élevée du sapin; B = vulnérabilité modérée du sapin, C = vulnérabilité faible du sapin.

e Aucun ajustement nécessaire dans la classe de vulnérabilité.

f Augmentation de la classe de vulnérabilité parce que l'unité est très exposée à des invasions de tordeuses en provenance des secteurs environnants.

g Diminution de la classe de vulnérabilité parce que le climat empêche des infestations soutenues de tordeuses de bourgeons de l'épinette.

h La cote du volume de En et de Er n'entre pas dans le calcul de l'indice de vulnérabilité parce que le volume de Sb et de Eb est inférieur à 28 m^3/ha.

DISCUSSION

La plupart des unités d'aménagement ayant un indice de vulnérabilité élevé se situent dans les régions accessibles où les opérations forestières sont concentrées (Figure 1). Cette caractéristique augmente l'importance des pertes résultant des déprédations par la tordeuse et donne des arguments supplémentaires à ceux qui préconisent la mise en oeuvre d'un programme intégré d'aménagement forestier destiné à réduire les effets de futures invasions de tordeuses.

Cette classification des forêts quant à leur vulnérabilité aux attaques de la tordeuse au Québec est basée sur une méthode qui pourrait certainement être améliorée lorsqu'on disposera de données plus précises sur différents aspects de la forêt et du climat. Par exemple, les moyennes de température et de précipitation pour les mois d'été (qui ne sont actuellement pas disponibles pour toutes les unités) rendraient mieux compte de l'influence du climat sur l'insecte. Plus important encore, l'établissement d'unités forestières en fonction de critères écologiques plutôt que socio-politiques améliorerait la précision des mesures. Quoi qu'il en soit, dans sa forme actuelle, la méthode de classification ne semble pas dénuée de mérite car, dans une large mesure, les dégats réels concordent avec les prévisions. En outre, cette classification a été appliquée (avec de légères modifications) par MacLean (1982) aux forêts du Nouveau-Brunswick et de la Nouvelle-Écosse où l'on a également constaté que les dégats prévus concordaient avec les observations. Il serait utopique d'espérer dire avec une précision absolue l'effet de la tordeuse pour une unité donnée. Des facteurs inconnus et imprévisibles, comme nous l'avons déjà mentionné, peuvent influer sur la tendance des invasions de tordeuses. Toutefois, en dépit de ses lacunes, une évaluation du risque auquel sont exposées les forêts, pourrait s'avérer très utile dans l'avenir.

La réapparition des invasions de tordeuses est reliée à la dynamique de la forêt. La probabilité d'une attaque de tordeuses augmente avec une présence accrue de peuplements de sapin à maturité car il s'agit là d'une condition préalable à une augmentation des populations de cet insecte. La

diminution du volume de sapin résultant d'une invasion est la principale cause du retour éventuel des populations de tordeuses à des niveaux endémiques. Ce n'est que lorsque les peuplements de sapin de taille marchande occuperont de nouveau de vastes étendues qu'une autre épidémie pourra se développer. Une évaluation du risque auquel sont exposées les diverses unités d'aménagement au Québec, basée sur des données obtenues au moment de chacun des inventaires décennaux constituerait un outil précieux pour prédire les invasions de tordeuses. Une carte illustrant la vulnérabilité relative du sapin, établie d'après les données obtenues lorsque l'inventaire forestier actuel sera complété (vers 1987) présenterait une mosaïque différente de celle qui a été établie selon l'inventaire précédent (Figure 1). Pour certaines unités le taux de vulnérabilité serait abaissé à cause de la réduction récente du volume de sapin et d'épinette blanche suite aux déprédations par la tordeuse. A chaque décennie successive, le volume et l'âge des peuplements de sapin augmenteront et finiront par s'approcher du niveau qui a donné lieu à l'invasion actuelle. La vulnérabilité relative des diverses unités d'aménagement au moment de la prochaine épidémie pourrait différer, dans une certaine mesure, de ce qu'elle était dans les années 1970. Pour redevenir favorable à la tordeuse, les forêts de sapin des unités qui ont connu de lourdes pertes au cours de la présente invasion, comme dans le bassin de la rivière Outaouais (Blais 1981), prendront plus de temps que celles des unités où les pertes ont été moins lourdes, comme dans les régions protégées par l'application d'insecticides.

Une évaluation périodique de la vulnérabilité des forêts aux attaques de la tordeuse laisserait prévoir l'imminence d'une invasion et indiquerait les unités où les dégats sont susceptibles d'être graves. Ces renseignements nous permettraient d'élaborer et, éventuellement, de mettre en oeuvre des mesures à long et à court termes qui pourraient réduire les pertes. Parmi ces mesures, on pourrait retrouver la coupe systématique des peuplements de sapin à maturité, la sélection des aires ayant besoin d'être traitées aux insecticides, et l'élaboration éventuelle d'opérations de récupération. Il est impérieux que les futurs plans d'aménagement forestier tiennent compte des pertes périodiques résultant de la réapparition d'invasions par la

tordeuse des bourgeons de l'épinette. Ces plans devraient être fonction de particularités régionales tant au niveau socio-économique et forestier qu'à celui de la vulnérabilité des forêts aux attaques de la tordeuse. Dans les années qui viennent, une concertation de tous les intervenants est essentielle afin de minimiser les pertes causées par la tordeuse.

REMERCIEMENTS

Le groupe de travail qui a mis au point l'indice de vulnérabilité était sous la direction de J.R. Blais et comprenait les membres suivants du Service canadien des forêts: L. Archambault, D.A. MacLean, D.P. Ostaff, A.G. Raske et W.L. Sippell. Les données de l'inventaire forestier ont été aimablement fournies par P. Trudel du Service des plans d'aménagement et D. Demers du Service de l'inventaire forestier du ministère de l'Énergie et des Ressources du Québec.

RÉFÉRENCES

Blais, J.R. 1964. Account of a recent spruce budworm outbreak in the Laurentide Park region of Quebec and measures for reducing damage in future outbreaks. For. Chron. 40: 313-323.

Blais, J.R. 1977. Comparative appraisal of insecticidal operations against spruce budworm in Quebec during two outbreaks. For. Chron. 53: 71-76.

Blais, J.R. 1981. Mortality of balsam fir and white spruce following a spruce budworm outbreak in the Ottawa River watershed in Quebec. Can. J. For. Res. 11: 620-629.

Blais, J.R. 1983. Les forêts de la Côte Nord au Québec sont-elles sujettes aux déprédations par la tordeuse? For. Chron. 59.

Blais, J.R.; Martineau, R. 1960. A recent spruce budworm outbreak in the Lower St. Lawrence and Gaspe with reference to aerial spraying operations. For. Chron. 36: 209-224.

Greenbank, D.O. 1957. The role of climate in the initiation of outbreaks of the spruce budworm in New Brunswick. I. The role of climate. Can. J. Zool. 34: 453-476.

Greenbank, D.O.; Schafer, T.W.; Rainey, R.C. 1980. Spruce budworm with flight and dispersal: new understanding from canopy observations, radar, and aircraft. Mem. Ent. Soc. Can. 110, 49 pp.

Ives, W.G.H. 1974. Weather and outbreaks of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana*. Sercice canadien des Forêts. Centre de recherches sur les forêts boréales: Rapport d'information NOR-X 188. 28 p.

Lavallée, A., Benoit, P.; Lachance, D.; Béique, R.; Davidson, J.G. 1976. Insectes et maladies des arbres, Québec 1976. For. Conserv. 43: 1-23.

MacLean, D.A. 1980. Vulnerability of fir-spruce stands during uncontrolled spruce budworm outbreaks: a review and discussion. For. Chron. 56: 213-221.

MacLean, D.A. 1982. Vulnerability rating of forests in New Brunswick and Nova Scotia. Service canadien des Forêts. Centre de recherches forestières des Maritimes. Rapport d'information M-X-132. 21 p.

McLintock, T.F. 1955. How damage to balsam fir develops after a spruce budworm epidemic. U.S. For. Serv. Northeast. For. Exp. Stn. Stn. Pap. 75.

Ministère de l'Énergie et des Resources du Québec 1981. Problématique de la présente épidémie de la tordeuse des bourgeons de l'épinette en terrains publics. Rapport spécial. 41 pp.

Ministère des Terres et Forêts du Québec. 1975. Suggestion d'un programme de recherche et de développement forestier en regard de la tordeuse. Rapport spécial. 126 p.

Mott, D.G. 1963. The forest and the spruce budworm. Pages 189-202 In R.F. Morris, ed. The dynamics of epidemic spruce budworm populations. Mem. Ent. Soc. Can. No. 31.

Paquet, G.; Desaulniers, R. 1975. Aerial spraying against the spruce budworm in Quebec in 1975 and plans for 1976. Rapport spécial Québec. Service d'entomologie et de pathologie, min. des Terres et Forêts du Québec. 30 p.

Pilon, J.G.; Blais, J.R. 1961. Weather and outbreaks of the spruce budworm in the Province of Quebec from 1939 to 1956. Can. Ent. 93: 118-123.

Rowe, J.S. 1972. Les régions forestières du Canada, publ. n° 1300, Service canadien des forêts.

Royer, R. 1958. Pertes causées dans la forêt du Québec par la tordeuse des bourgeons de l'épinette au cours de la présente épidémie. Rapport 38e Assemblée Générale Annuelle Corporation des Ingénieurs Forestiers de la province de Québec: 33-45.

Swaine, J.M.; Craighead, F.C. 1924. Studies on the spruce budworm. Part 1. A general account of the outbreaks, injury and associated insects. Agriculture Canada. Bulletin technique (Nouvelle série) 37: 3-27.

Wellington, W.G.; Fettes, J.J.; Turner, K.B.; Belyea, R.M. 1950. Physical and biological indicators of the development of outbreaks of the spruce budworm, *Choristoneura fumiferana* (Clem.) and the forest tent caterpillar, *Malacosoma disstria* Hbn. Can. J. Zool. 30: 114-127.